

사장교의 케이블 길이조정에 관한 연구

채영석 · 민인기*†

우송공업대학 건축과 · *우송공업대학 토목과
(2002. 8. 26. 접수 / 2002. 12. 24. 채택)

A Study on the Cable Length Adjustment of Cable-Stayed Bridges

Young-Suk Chai · In-Ki Min*†

Department of Architecture Engineering, Woosong Technical College

*Department of Civil Engineering, Woosong Technical College

(Received August 26, 2002 / Accepted December 24, 2002)

Abstract : Generally, cable-stayed bridges are both statically indeterminate structure with a high degree of redundancy and flexible structure. So it is very important to ensure precision control during both fabrication and construction. In precision control of cable-stayed bridges, precision control under multi-objective programming method is needed, because precision control problem of cable-stayed bridges is a multi-objective programming problem in which many objective functions are regard as variables. In previous studies, it was regarded as a single-objective problem, so it had many problems in respect of usefulness and rationalness.

In this study, precision control under multi-objective programming method is proposed considering economy, efficiency, and safety at best in precision control of cable-stayed bridges. Precision control problem of cable-stayed bridges is formulated with satisfying trade-off method which is a kind of multi-objective programming method, then it is optimized with min-max method. A computer program is presented including above process.

Key Words : cable-stayed bridges, cable length adjustment, multi-objective programming method, trade-off method, influence value matrix

1. 서 론

사장교는 경간을 증가시키고 사하중을 감소할 목적으로 주형을 높은 주탑에 달아맨 교량형식이다. 이 교량형식은 주형과 주탑을 연결할 때 케이블을 사용하기 때문에 해석 시 대변형과 케이블 새그(Sag)에 대한 고려가 필요하고 가설 시 고도의 정확도를 요한다.

그러나 국내에서 사장교는 역사가 짧고 기술자들에게 익숙한 교량형식이 아니기 때문에 설계와 가설 등 여러 측면에서 외국 기술에 의존하고 있는 형편이다. 사장교가 우리 나라 지형에 적합하고 앞으로 다수 건설될 교량형식임을 감안할 때 기술력 확보 측면에서 사장교의 설계와 가설에 대한 보다 많은 연구가 요청된다.

특히 사장교에서 가설 시 시공관리는 매우 중요한 문제이다. 사장교는 교차의 부정정 구조물이고 동시에 유연한 구조물이기 때문에 다른 교량에 비해 제작과 가설 시 정도확보 및 관리가 중요하다. 팔당대교와 행주대교가 붕괴된 사건은 사장교의 가설 시 어려움을 잘 말해 준다. 사장교 가설관리의 어려움은 사장교 자체가 가지는 특성뿐 아니라 가설관리와 작업성을 동시에 고려해야 하는 점에서 비롯된다^{1,2)}.

본 논문은 이러한 점들을 극복하고 경제적이고 효율적이며 안정성을 최대한 고려한 사장교의 시공관리 기법을 제안하기 위하여 다목적 계획법을 원용하고자 한다. 다목적 계획법은 설계자에게 한 개가 아닌 무수히 많은 해(Pareto Optimum)를 제공함으로써 선택 가능한 해의 더 많은 범위를 살필 수 있는 가능성을 열어줄 뿐 아니라 서로 상반되는 목적함수의 만족화 교환(Trade-Off) 수치를 제시해 주

†To whom correspondence should be addressed.
ikmin@wst.ac.kr

기 때문에 설계자는 실제 설계에 있어 많은 도움을 받게 된다. 따라서 사장교의 시공관리 문제가 다목적 계획법에 의해 계획된다면 보다 효율적인 사장교의 시공관리가 실시될 수 있을 것으로 기대된다³⁾.

이 연구는 사장교의 시공관리 문제가 다목적 계획문제라는 점에 주목하고 이를 수리학적으로 해결하기 위하여 여러 가지 새로운 기법들을 원용하여 이를 프로그램화하는 데 연구의 초점을 맞추고자 한다. 본 논문은 다목적 계획법을 이용하여 사장교 시공관리를 위한 효과적인 프로그램을 제안하고 이 프로그램의 적합성을 검증한다.

2. 시공관리의 정식화

사장교의 시공관리를 위한 케이블 길이 조정량 해석 문제를 만족화 교환법과 최소-최대법을 이용하여 정식화한다. 목적함수인 장력·캠버의 잔류오차는 절대치로 취급되므로 비선형계획법을 적용한다⁴⁾.

2.1. 목적함수

행렬 X_{jk} , Y_{jk} 를 영향치 매트릭스라고 부르고, 미소 변위해석 프로그램에 의해 계산된다. 또한 n 을 케이블 수, m 을 캠버 측정점의 수, 케이블 장력의 설계치와 실측치와의 차이를 ΔA_i , 캠버의 차이를 ΔB_j 로 하면 장력과 캠버의 잔류오차는 식 (1)~식 (3)과 같이 케이블 길이 조정량의 1차함수로 표시하는 것이 가능하다.

◆ 장력 잔류오차

$$T_i = |\Delta A_i - \sum X_{ik} \cdot \Delta l_k| \quad (i = 1.2. \dots n) \quad (1)$$

◆ 캠버 잔류오차

$$C_j = |\Delta B_j - \sum Y_{jk} \cdot \Delta l_k| \quad (j = 1.2. \dots m) \quad (2)$$

◆ 케이블 길이 조정량

$$L_i = |\Delta l_i| \quad (i = 1.2. \dots n) \quad (3)$$

2.2. 제약조건

케이블 정착부의 구조 등에서 결정되는 케이블 길이 조정량의 상·하한 제약조건은 식 (4)과 같다.

$$\Delta l_{Li} \leq \Delta l_i \leq \Delta l_{Ui} \quad (i = 1.2. \dots n) \quad (4)$$

여기서, Δl_{Li} , Δl_{Ui} 는 각각 i 케이블에서 길이 조

정량의 상·하한값이다.

2.3. 케이블 길이 조정 문제의 정식화

실제 프로그램에서는 식 (1)~식 (3)의 $2n+m$ 개의 목적함수 및 식 (4)의 n 개의 제약조건을 만족화 교환법의 알고리즘 단계 3에 나타난 최소-최대 문제로 변환한다. 이것은 이상점에 가장 근접한 허용해를 구하는 문제로 된다. 식 (1)~식 (2)을 각각 최소화하는 Δl_i 를 찾아내기 위하여 식 (5)와 같이 만족도라는 보조적 스칼라량 D_i 를 도입한다.

$$D_i = (f_i - f_i^*) \times w_i = (f_i - f_i^*) / (\hat{f}_i - f_i^*) \quad (5)$$

이상의 조건으로 사장교의 시공관리를 정식화 하면 다음과 같다.

$$\textcircled{1} \text{ 목적함수 } F = D_{\max} \rightarrow \text{최소화} \quad (6)$$

$\textcircled{2}$ 제약조건

$$\frac{T_i - T_i^*}{\hat{T}_i - T_i^*} \leq D \quad (i=1, \dots, n) \quad (7)$$

$$\frac{C_j - C_j^*}{\hat{C}_j - C_j^*} \leq D \quad (j=1, \dots, m) \quad (8)$$

$$\frac{L_i - L_i^*}{\hat{L}_i - L_i^*} \leq D \quad (i=1, \dots, n) \quad (9)$$

$$T_i = |\Delta T_i - \sum X_{ik} \Delta l_k| \quad (i=1, \dots, n) \quad (10)$$

$$C_j = |\Delta Z_j - \sum Y_{jk} \Delta l_k| \quad (i=1, \dots, m) \quad (11)$$

$$L_i = |\Delta l_i| \quad (i=1, \dots, n) \quad (12)$$

$$\Delta l_{Li} \leq \Delta l_i \leq \Delta l_{Ui} \quad (i=1, \dots, n) \quad (13)$$

T_i^* , C_j^* , L_i^* 는 각각 T_i , C_j , L_i 의 이상점, \hat{T}_i , \hat{C}_j , \hat{L}_i 는 각각 T_i , C_j , L_i 의 회귀수준이다.

2.4. 조정개수 결정

케이블 길이 조정개수에 대해서는 직접 목적함수로 하지 않는다. 케이블 길이 조정작업의 대부분은 잭의 이동·거치에 있으므로, 케이블 길이 조정량의 감소보다 오히려 조정개수의 감소가 작업성을 향상

시키는데 효과적이다. 그 방법은 다음과 같다.

첫째, 만족화 교환법의 반복과정에서 얻어진 케이블 길이 조정량의 해 중에서 작은 값에 대한 회귀 수준을 엄밀히 설정하여 그 값을 더욱더 작게 하는 새로운 해를 구한다.

둘째, 제약조건에 의한 방법으로 길이 조정량 값이 작은 케이블의 상·하한 제약조건 Δl_{Lj} , Δl_{Uj} 를 "0"에 가깝게 하여 케이블 길이 조정량을 강제로 제약하는 것이다.

2.5. 프로그램의 구성

본 연구에서 만족화 교환법과 최소-최대법으로 정식화된 최적 케이블 길이 조정량 문제를 프로그램화한다. 단일목적의 최적화는 국부최적화 기법들을 부프로그램으로 형성하고 있는 ADS(Automated Design Synthesis)를 이용하였다⁵⁻⁶⁾.

"OSA"(Optimum Shim Adjustment in cable-stayed bridges)라고 명명한 프로그램은 시스템의 모든 작업을 제어하는 메인 루틴과 SYSTEM과 ANALOUT, DCONST, CONSTRAINT, OBJECT, RESULT 등의 서브루틴으로 구성되어 있다. 케이블 길이 조정량 해석 프로그램 흐름도는 Fig. 1과 같다.

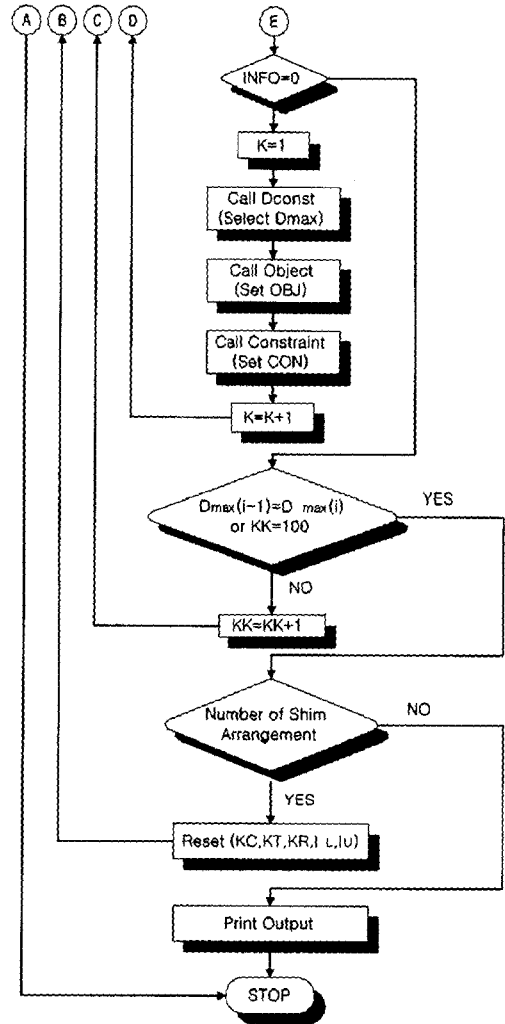
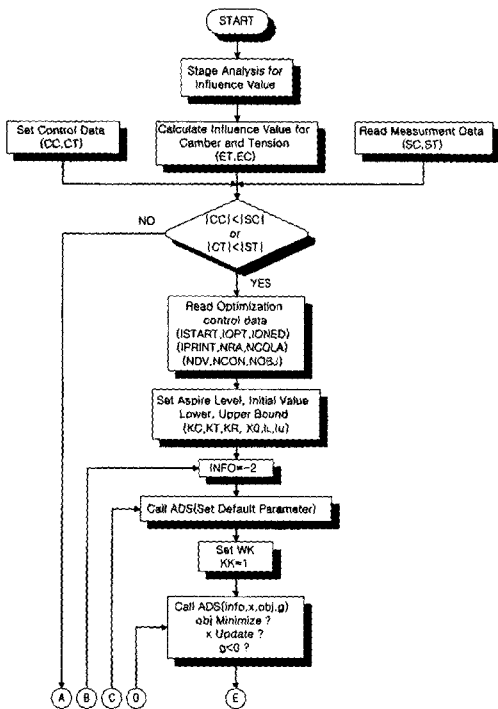


Fig. 1. Program flow chart

3. 수치해석을 통한 검증

3.1. 해석모델

본 연구에서 제안한 "OSA" 프로그램의 타당성과 유효성을 검증하기 위하여 Fig. 2와 같이 가장 일반적인 3경간 연속 사장교를 모델로 선정하였다.

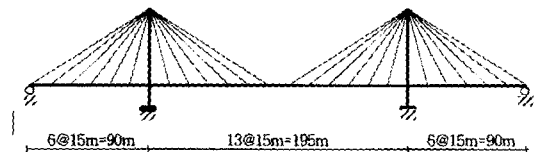


Fig. 2. Analysis model

Table 1. Tension force of Analysis model (Unit : ton)

Cable Stage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Stage 1						116.8	116.8					
						-0.78	-0.78					
Stage 2					84.5	164.0	156.0	86.7				
					1.69	0.53	0.42	1.32				
Stage 3				109.7	144.9	189.5	184.7	143.2	113.0			
				8.12	4.32	1.23	1.10	3.78	6.91			
Stage 4			138.1	164.8	181.1	195.6	192.4	177.7	158.0	147.5		
			17.64	11.57	5.62	1.40	1.32	5.02	9.83	14.16		
Stage 5	198.1	160.3	197.8	195.6	197.3	192.3	190.2	192.9	184.7	184.5		
	25.60	20.32	13.25	6.16	1.47	1.33	5.50	11.61	17.56	22.22		
Stage 6	186.5	266.1	203.6	213.8	192.7	203.0	190.8	192.2	210.1	219.2	217.9	222.1
	40.60	32.33	23.50	14.07	6.12	1.37	1.31	3.62	12.51	20.06	26.31	30.66
Last stage	388.0	425.8	305.7	275.4	232.3	222.0	211.5	234.4	272.9	316.0	359.5	403.1
	70.98	51.73	34.04	20.51	9.82	3.04	0.77	4.89	12.21	21.93	33.07	44.68

(-) 부호는 상향처짐이고 축적점의 위치는 케이블 정착구의 위치이다.

Table 2. Ideal value and desire level

회수	이상값			회구수준			조정개수
	장력 (T_i^*)	캠버 (C_i^*)	조정량 (L_i^*)	장력 (\hat{T}_i)	캠버 (\hat{C}_i)	조정량 (\hat{L}_i)	
1 회	0	0	0	10.0	20.0	50	전 케이블
2 회	0	0	0	10.0	5.0	100	전 케이블
3 회	0	0	0	10.0	5.0	100	1, 6, 7, 12

단위 : 장력(ton), 캠버(mm), 조정량(mm)

3.2. 가설단계해석

구조해석은 사장교 전용 프로그램 "DICCO"⁷⁾를 사용하여 검증모델의 가설단계를 해석하였다. Table 1은 각 가설단계에서 장력과 캠버값으로 시공관리가 필요한 경우, 관리기준값과 비교하는 설계값이다.

3.3. 시공관리모델

본 연구에서 제한한 기법의 타당성과 유효성을 입증하기 위해 가장 불안정한 단계인 주형 폐합 직전의 가설단계를 케이블 길이 조정 모델로 선정한다. 캠버의 측정점을 케이블 정착부 12개소로 정하면 문제는 케이블 측정점 12개, 케이블 수 12개, 조정량 12개의 합인 36개의 목적함수를 가진 다목적 최적화 문제가 된다. 1, 6, 7, 12번의 4개의 케이블에만 각각 +20℃, -10℃, -10℃ 및 +20℃의 온도변화(길이오차로는 +20.51mm, -5.139mm, -5.139mm, -20.51mm)를 부여하여 구조해석에 의해 측정오차로 정한다. 캠버와 장력의 초기설정오차는 Fig. 3과 Fig. 4와 같다.

3.4. 최적성 검증

Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 장력과 캠버의 오차를 개선하기 위하여 최적 케이블 길이 조정량을 산정한 후, 캠버와 장력의 잔류오차를 초기설정 오차와 비교·고찰한다. 해석의 초기조건은 Table 2와 같다. 이상점은 현실을 고려할 필요가 없으므로 전부 "0"으로 하고, 케이블 길이 조정량의 상·하한값은 정착구 사양의 조정여유와 오차의 크기에 따라 정하므로 본 예제에서는 전 케이블에 대하여 ±50mm로 설정한다.

각 회의 최적화를 수행한 결과를 Table 3과 Fig. 5~8에 나타내었고, 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 1회 최적화 제1회의 최적화는 전 케이블을 조정대상으로 하여 캠버·장력의 잔류오차, 조정량의 회구수준을 각 항목에 일률적으로 각각 10ton,

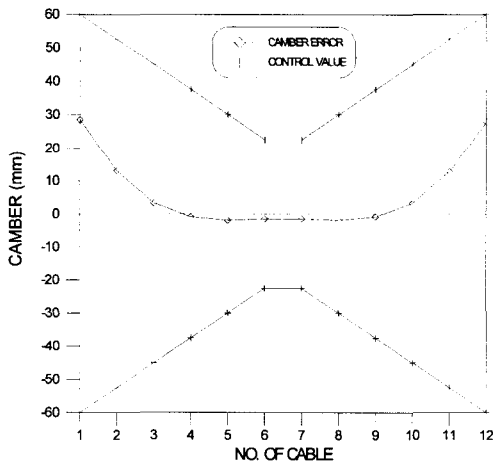


Fig. 3. Initial error of camber

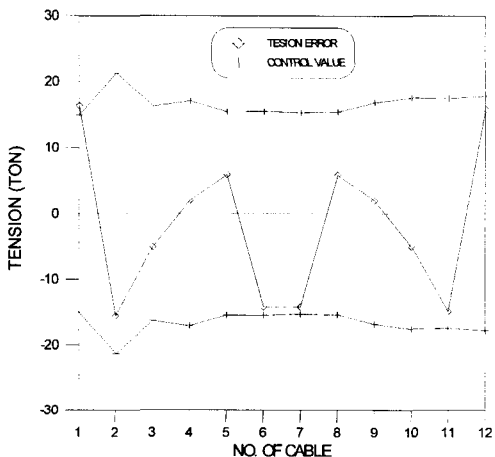


Fig. 4. Tension force error of camber

20mm와 50mm로 설정하였다. 최적화된 케이블 길이 조정량은 Table 3과 같이 1번, 6번, 7번과 12번의 케이블에서 각각 (+)16.1mm, (-)3.9mm, (-)5.3mm와 (+)15.8mm로 산정되었다. 이때 캠버의 초기설정 오차 28.44mm(1번 절점)와 27.79mm(12번 절점)는 각각 6.6mm와 6.7mm로 관리기준값보다 크게 감소하였고, 장력의 초기설정 오차는 1번 케이블의 경우 16.38ton에서 3.21ton, 12번 케이블에서 15.81ton에서 3.31ton으로 관리기준값을 만족하였다.

2) 2회 최적화 제1회의 최적화에서 각각의 잔류 오차는 관리기준값 이내로 들어오지만, 케이블 길이 오차를 부여한 케이블과 그렇지 않은 케이블에 보다 명확한 오차를 생기게 하고, 동시에 약간 큰 캠버 오차를 개선하기 위하여 제2회 최적화를 실시한다. 제2회 최적화에서는 각 케이블에 일률적으로 케이블 장력오차는 10.0ton으로 제1회와 같게 하고, 캠버 오차 5.0mm로 엄밀하게 설정한다. 한편, 케이블 길이 조정량을 100mm로 완화하였고, 케이블 길이 조정량의 상·하한값은 변경하지 않았다.

그 결과 최적화된 케이블 길이 조정량은 길이의 오차를 부여한 케이블 이외에는 전부 1mm 이하로 되었고, 케이블 장력오차는 1회보다 약간 증가하였으며, 캠버 오차는 전 절점에서 2mm이하로 상당히 개선되었다.

3) 3회 최적화 제1회와 제2회의 최적화는 전 케이블을 대상으로 케이블 길이 조정을 행하여 충분히 만족스런 결과를 얻었다. 제3회 최적화는 프로그램에 의해 산정된 최적해가 초기설정 오차를 얼마나 조정하는가를 검증하기 위하여 수행한다. 이를 위하여 케이블 번호 1, 6, 7, 12의 4개의 케이블만을 조정대상으로 한다. 케이블 길이 조정량의 제약조건을 이용하여 1, 6, 7, 12번 이외의 케이블을 조정대상에서 제외하였고, 회구수준은 제2회와 동일한 값을 사용하여 최적화를 수행한다. 최적화된 케이블 길이 조정량과 초기설정 오차의 차이는 1, 6, 7, 12 케이블에서 각각 0.163mm, 0.075mm, 0.059mm로 매우 작은 값을 나타내었다. 이 차이는 전산해석에서의 자릿수 오차, 최적 케이블 길이 조정량에 의한 장력변화에 대한 케이블의 비선형성 오차이지만 실용상 충분한 정확성을 갖는다고 판단된다.

그림 5.7은 최적 케이블 길이 조정량 산정 시 최적화의 반복회수에 따라 목적함수 값이 최소화되는 것을 나타내고 있다. 1회, 2회, 3회 모두 약 60회 정도에서 최적값으로 수렴됨을 알 수 있다.

Table 3. Adjustment result of optimal cable length (mm, ton)

케이블	이상값 회구수준		1회 최적화			2회 최적화			3회 최적화		
	초기설정 오차		0/50	0/10.0	0/20.0	0/100	0/10.0	0/5.0	0/100	0/10.0	0/5.0
	캠버 오차	장력 오차	케이블 길이 조정량	장력 잔류 오차	캠버 잔류 오차	케이블 길이 조정량	장력 잔류 오차	캠버 잔류 오차	케이블 길이 조정량	장력 잔류 오차	캠버 잔류 오차
1	16.380	28.444	16.052	3.213	6.629	15.809	1.291	0.407	20.347	0.149	0.204
2	-15.520	13.090	-0.580	3.220	0.723	-1.265	-0.261	0.010	-0.144	0.084	
3	-5.050	3.240	0.065	-1.606	0.935	0.779	-1.176	-0.496	0.010	-0.062	0.018
4	2.000	-0.910	0.106	-0.207	-0.018	-0.074	1.081	-0.344	-0.010	0.017	-0.028
5	5.890	-2.000	-0.493	2.625	-0.286	-0.090	1.388	-0.331	-0.010	-0.024	0.038
6	-14.150	-1.570	-3.908	-3.399	-0.388	-4.227	-1.987	-0.422	-5.214	0.205	0.014
7	-14.170	-1.570	-5.273	0.688	-0.063	-6.316	1.946	0.467	-5.198	0.184	-0.003
8	5.830	-1.990	0.444	-0.271	-0.435	-0.141	-0.718	0.404	0.002	-0.006	0.011
9	1.950	-0.900	0.573	-0.898	-0.399	-0.396	1.028	0.038	0.007	0.002	-0.017
10	-5.030	3.190	-0.406	-0.161	0.719	0.603	-1.218	-0.284	0.010	-0.046	-0.022
11	-14.860	12.830	-0.325	-3.002	3.184	0.814	-1.939	0.049	0.010	-0.137	0.088
12	15.810	27.790	15.798	3.314	6.740	19.043	1.964	0.993	20.354	0.146	0.206

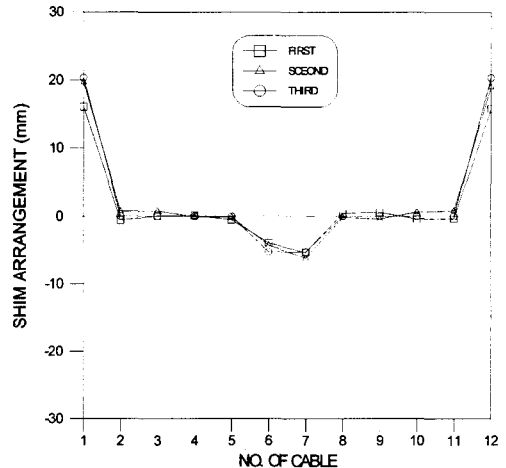


Fig. 5. Adjustment value of cable length

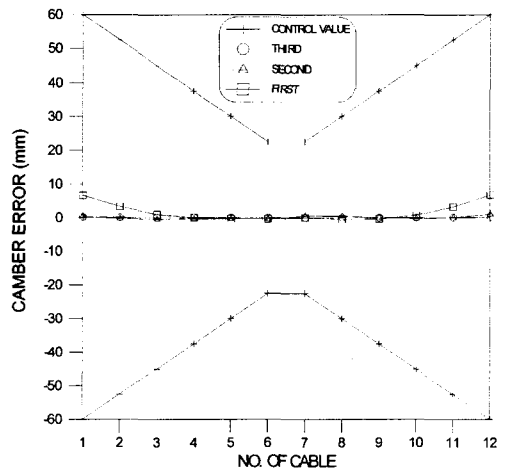


Fig. 6. Residual error of camber

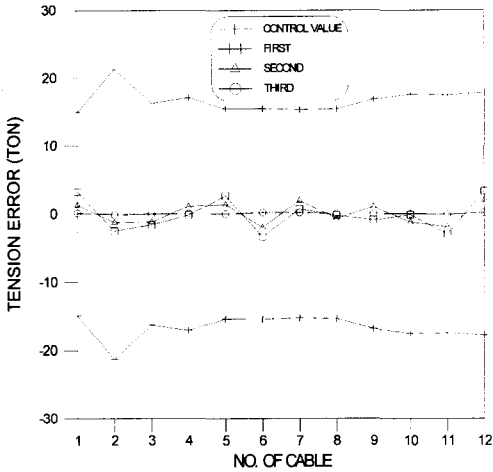


Fig. 7. Residual error of tension force

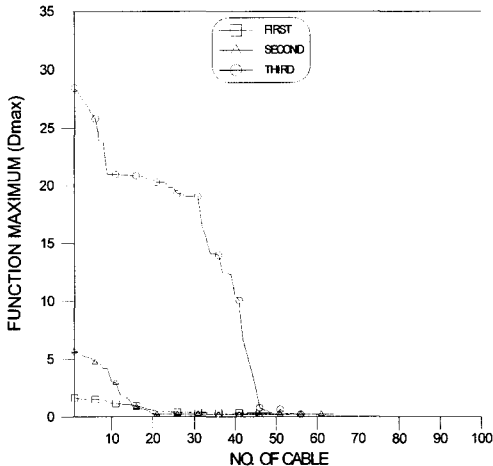


Fig. 8. Convergence of object function

3.5. 정확성 검증

케이블 길이 조정량 산출 시, 최적해 과정마다 유한차분의 케이블 길이 조정량에 대한 목적함수와 제약조건을 구조해석에 의해 구해야 한다. 목적함수의 최대값을 1회 최적화하는 데 수백 번의 단일최적화가 수행되고, 목적함수값의 최대값이 최소화되어 원하는 수렴값이 되기까지는 수십 회의 다목적 최적화가 수행되어야 한다. 또한 의사결정자는 원하는 케이블 조정개수를 결정하기 위하여 위의 최적화를 여러 번 수행해야 한다. 따라서 작업성을 고려한 최적 케이블 조정개수와 길이 조정량을 산출하기 위해서는 몇 만회의 단일최적화가 수행되어야 하고 구조해석도 몇 만회가 반복되어야 한다. 컴퓨터의 성능과 해석모델에 따라 다르지만 개인용 컴

퓨터를 이용할 때, 가설단계의 구조해석에 소요되는 시간을 고려하면 이러한 경우 몇 십일이 소요된다. 이런 이유로 개인용 컴퓨터를 이용하는 것은 불가능하여 슈퍼컴퓨터를 이용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 제약성을 극복하기 위하여 단위 케이블 길이 조정량에 대한 구조계의 영향을 사전에 파악하여 시공관리 시 영향치 매트릭스를 이용하여 케이블 길이 조정량 최적화를 수행하는 방법을 제안한다. 검증모델의 경우, 몇 분 이내에 최적 케이블 길이 조정량이 산출되었다. 그러나 케이블 새그로 인해 장력과 길이변화는 비선형성을 가지므로, 설계장력에서의 단위 케이블 길이 조정량에 대한 영향값은 최적 케이블 길이 조정량 산출후의 영향값과 엄밀한 의미에서 차이가 발생한다. 따라서 영향치 매트릭스를 이용하여 산출된 케이블 길이 조정량을 구조해석에 적용하여 케이블과 장력의 잔류오차를 구하고, 최적화과정에서 얻어진 각각의 잔류오차와 비교하여 프로그램의 정확성을 판단할 필요가 있다.

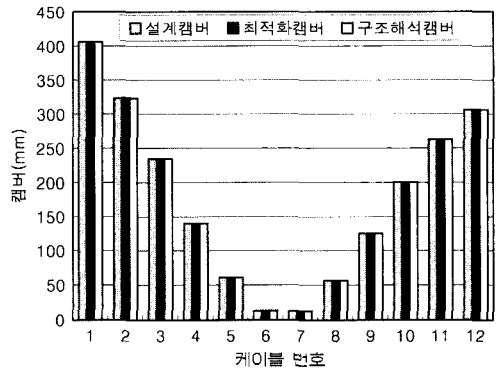


Fig. 9. Difference of camber

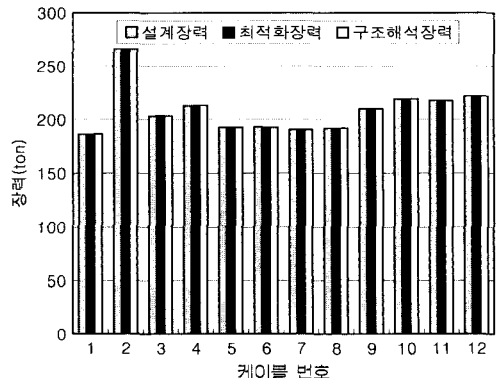


Fig. 10. Difference of tension force

프로그램의 정확성을 고찰하기 위해 3.4절의 3회 최적화에서 해석된 최적 케이블 길이 조정량을 구조해석에 적용하여 각 절점의 캠버와 각 케이블의 장력을 구하면 Fig. 9와 Fig. 10의 ■로 표시된 값과 같이 나타난다. 또한 최적 케이블 길이 조정량을 해석할 때 최적화된 각 절점의 캠버와 각 케이블의 장력은 Fig. 9와 Fig. 10의 □로 표시된 값과 같다.

Fig. 9와 Fig. 10에서 알 수 있듯이, 최적 케이블 길이 조정량을 구조해석에 적용하여 구한 캠버와 최적화에서 산출된 캠버 값의 최대 차이는 케이블 12의 절점에서 0.544mm이고, 장력 값의 최대 차이는 케이블 2번에서 0.374ton으로 실용상 충분히 작은 값으로 판단된다. 또한 □로 표시된 설계 장력값과 거의 같게 최적화 되었음을 알 수 있다.

따라서, 최적 케이블 길이 조정량 해석시간을 단축할 목적으로 최적화 수행 단계마다 목적함수와 제약조건을 구조해석을 통해 구하지 않고, 케이블 길이 조정량의 변화에 대한 구조계의 형상을 선형으로 간주하여 영향값을 이용하여도 충분히 정확성을 확보할 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 사장교의 가설 시 시공관리를 위한 효율적인 프로그램을 제시하고, 이 프로그램의 정확성과 최적성을 검증하는 것을 목표로 하였다. 이 연구를 통해 드러난 바를 요약하면 다음과 같다.

1) 사장교 정도관리 문제를 다목적 계획법의 하나인 만족화 교환법으로 정식화하고 최대-최소법으로 변환하여 최적해를 구하는 새로운 프로그램을 제안하였다.

2) 이 프로그램으로 해석한 케이블 길이 조정량이 최적화된 해인지를 검증하기 위하여 몇 개의 케이블에 오차를 부여하고 케이블 길이 조정 대상 길이를 부여한 케이블에 한정하여 해석한 결과, 최적화된 케이블 길이 조정량과 부여한 길이오차가 거의 일치하였다. 적은 오차는 전산해석에서의 자릿수 오차로 판단되므로, 본 연구에서 제안한 프로그램의 최적성이 검증되었다고 판단된다.

3) 목적함수와 제약조건을 구조해석에 의해 최적화 단계마다 구하는 것은 매우 많은 시간과 비용이

소요되므로 최적화 수행 시 영향치 매트릭스를 이용하여 해석시간을 대폭 감소시키는 방법을 채택, 검증하였다. 영향치 매트릭스를 이용하여 최적화된 캠버와 장력 값을 구하고, 이 값을 최적화된 케이블 길이 조정량에 대해 구조해석을 수행하여 얻은 캠버와 장력값과 비교해 본 결과, 그 차이는 매우 작았다. 이것은 최적화 과정에서 변동된 장력에 대해 케이블의 비선형성이 매우 작기 때문으로 판단된다.

4) 작업성 측면에서 전 케이블을 조정 대상으로 하는 것은 실용성이 떨어지므로, 현재 가설중인 실교량에 발생 가능한 오차를 부여하여 추정오차로 가정하고 최적 케이블 길이 조정량을 해석한 후, 조정량이 작은 케이블을 조정개수에서 제외하는 방법으로 조정개수를 결정하였다. 몇 회의 최적화 과정을 반복한 결과, 외측 케이블 2개만을 조정대상으로 하여도 충분히 오차가 감소함을 알 수 있었다.

5) 본 연구에서는 가설 시의 추정오차를 가정하여 최적 케이블 길이 조정량을 산출하는데 그쳤으나, 향후에는 실측된 오차에 대해 최적화된 케이블 길이 조정량을 가설 현장의 정도관리에 적용하여 오차의 개선여부를 비교·확인하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 苴澤伸光, “斜張橋架設時のシム量決定方法(上),” 橋梁と基礎, Vol. 18, No. 9, 1984, pp. 17~22.
- 2) 苴澤伸光, “斜張橋架設時のシム量決定方法(下),” 橋梁と基礎, Vol. 18, No. 10, 1984, pp. 41~45.
- 3) Beckmann, M. and Kunzi, H.P., “Multi-Objective Programming and Goal Programming,” Springer, 1996.
- 4) 中山弘隆, “多目的計画法に對する満足化トレードオフ法の提案,” 計測自動制御學會, 第 20 卷, 第 1 号, 1984, pp. 29~35.
- 5) Vanderplaats, G.N., “Numerical Optimization Techniques for Engineering Design,” McGraw-Hill Book Company, 1984, pp. 140~150.
- 6) 이정로, “다중 목적함수 소프트웨어의 개발,” 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1995.
- 7) 대림산업(주), “합성형 사장교의 시공단계해석 프로그램(DICCO) 개발,” 1995.